



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Путилин Кирилл Вячеславович**

Технический балл: **89**

Дата: **12 мая 2020 года**

Олимпиада «Ломоносов»

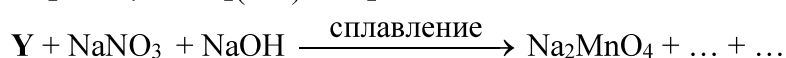
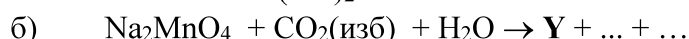
10 класс

1. Бинарное вещество имеет ионное строение. Общее число электронов во всех положительных ионах в 4 раза меньше общего числа электронов во всех отрицательных ионах. Предложите возможную формулу вещества и докажите, что она соответствует условию. Напишите электронную конфигурацию отрицательного иона в основном состоянии и положительного иона в первом возбужденном состоянии. **(8 баллов)**

2. Навеску кристаллогидрата гидрофосфата натрия массой 10.00 г выдержали в течение длительного времени при 300 °С. Масса полученного твердого вещества составила 7.47 г. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

(8 баллов)

3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим схемам превращений:



Определите неизвестные вещества.

(8 баллов)

4. Аммиак объемом 200 литров (н.у.) растворили в одном литре воды. Полученный раствор охладили до –60 °С, в результате чего из раствора выпал осадок – чистый лед. Рассчитайте массовую долю аммиака в исходном растворе и найдите массу выпавшего осадка, если известно, что массовая доля аммиака в насыщенном при –60 °С водном растворе равна 27%.

(10 баллов)

5. Навеску металла массой 8.96 г полностью растворили в 200 г 35%-ной азотной кислоты, при этом выделилось 5.376 л (н. у.) смеси двух газов, по плотности равной фтору. Найдите состав смеси (в об.%). Определите металл и напишите суммарное уравнение его растворения в этих условиях. Рассчитайте массовую долю нитрата металла в полученном растворе.

(14 баллов)

6. Теплоты сгорания аммиака и газообразного гидразина (N_2H_4) равны 317 и 534 кДж/моль соответственно. В обоих случаях продукты сгорания – азот и пары воды. Определите энергию связи N–N в гидразине, если энергия связи $\text{N}\equiv\text{N}$ составляет 945 кДж/моль. Примите, что энергия связи N–H одинакова в аммиаке и гидразине.

(16 баллов)

7. При нагревании происходит взаимодействие 17.7 г смеси изомерных органических веществ **A** и **B**, относящихся к одному классу соединений и не содержащих кратных связей углерод–углерод, со 100 мл 15%-ного водного раствора гидроксида калия (плотность 1.12 г/мл). Образуется смесь, состоящая из соли **C** и двух соединений **D** и **E**, являющихся ближайшими гомологами, которые образуются в мольном соотношении 1 : 2. Определите строение соединений **A** – **E**, приведите уравнения реакций.

(16 баллов)

8. Шпиль Главного здания МГУ имеет красивую желто-золотистую окраску, однако в нем нет ни грамма золота. Покрытие шпиля состоит из широко распространенного хрупкого, прозрачного, бесцветного материала **X**, в который для придания окраски добавлены оксиды **Y** и **Z**. В обоих оксидах элементы четырехвалентны. В оксиде **Y** масса элемента в 4.375 раза больше массы кислорода. Оксид **Z** получают из хлорида металла двумя способами: гидролизом с парами воды и прокаливанием в атмосфере кислорода. В первой реакции степени окисления элементов не изменяются, вторая является реакцией замещения. Для получения 100 г **Z** требуется минимально 237.5 г хлорида.

Назовите вещество **X** и перечислите 4 основных элемента, которые входят в его состав. Определите формулы веществ **Y** и **Z** (подтвердите расчетом). Напишите уравнения реакций получения **Z**.

(20 баллов)

Кирилл Вячеславович Путилин

Решения и ответы даны в виде приложенных файлов

Задача: 1

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 2

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 3

Ответ: -

Балл: 6

Задача: 4

Ответ: -

Балл: 10

Задача: 5

Ответ: -

Балл: 11

Задача: 6

Ответ: -

Балл: 10

Задача: 7

Ответ: -

Балл: 16

Задача: 8

Ответ: -

Балл: 20

N 1.

Т.к. это простое вещество - ионное, то оно содержит металлы и неметаллы. Тогда металлы отдали часть электронов, а неметаллы - приняли, следовательно, их количество будет отличаться от порядкового номера.

Начнём рассмотрение с галогенов. Тогда формула неизвестного вещества - $AN_{hal}n$, где A - неизвестный металл. Значит, галоген принял 1 электрон, а металл отдал n . Следовательно:

$$4(N_A - n) = n(N_{hal} + 1),$$

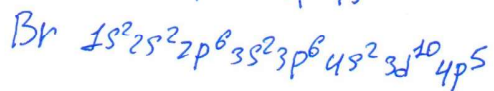
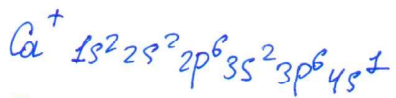
где N_A - пор. номер A ; N_{hal} - пор. номер hal .

$$4N_A - 4n = nN_{hal} + n$$

$$4N_A = nN_{hal} + 5n$$

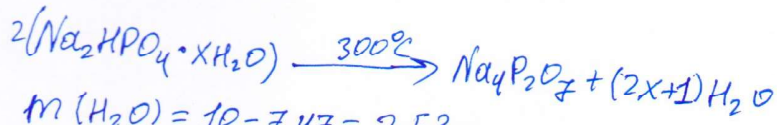
$$N_A = \frac{nN_{hal} + 5n}{4}$$

Перебрав все галогены и значения n , получаем, что неизвестное вещество - $CaBr_2$. Действительно, кр. решётка этого вещества ионная, рассчитано число электронов. У брома их 36, а у кальция - 18. Т.к. атомов брома 2, то суммарно у них 72 электрона - в 4 раза больше, чем у кальция.



№ 2.

Затем формулу кристаллогидрата как $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. Учитывая, что при нагревании до 300°C гидрофосфат разлагается, запишем эту реакцию:



$$m(\text{H}_2\text{O}) = 10 - 7,47 = 2,53 \text{ г}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m}{M} = \frac{2,53 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,14 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7) = \frac{m}{M} = \frac{7,47 \text{ г}}{266 \text{ г/моль}} = 0,028 \text{ моль}$$

$$2x+1 = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7)} = \frac{0,14 \text{ моль}}{0,028 \text{ моль}} = 5$$

$$2x = 4$$

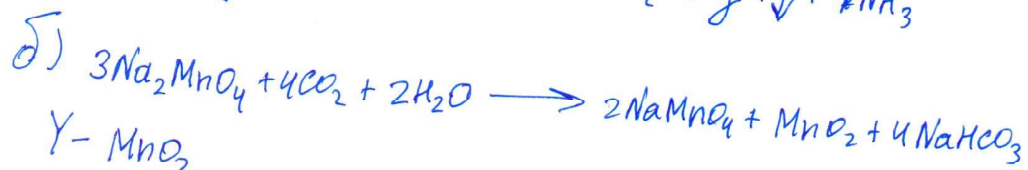
$$x = 2$$

Начальное вещество - $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; конечный продукт - $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

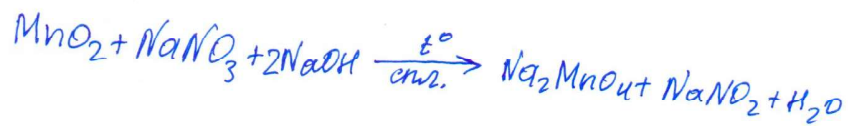
N 3.



X - BaCl_2



Y - MnO_2



N 4.

$$\left. \begin{array}{l} V(\text{NH}_3) = \frac{V}{V_M} \\ m = V_M \end{array} \right\} \Rightarrow \rho m(\text{NH}_3) = \frac{V \cdot M}{V_M} = \frac{200 \text{ л} \cdot 17 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{22,4 \frac{\text{л}}{\text{моль}}} = 151,8 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho V = 1000 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NH}_3) = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{151,8 \text{ г}}{151,8 \text{ г} + 1000 \text{ г}} = 13,18\%$$

Рассчитаем гантию для раствора после охлаждения:

$$m_{\text{г-г}}(\text{H}_2\text{O}) = \frac{\omega(\text{H}_2\text{O})}{\omega(\text{NH}_3)} \cdot m(\text{NH}_3) = \frac{100 - 27}{27} \cdot 151,8 \text{ г} = 470,4 \text{ г}$$

$$m_{\text{льда}} = 1000 \text{ г} - 470,4 \text{ г} = 529,6 \text{ г}$$

№ 5.

Для азотной кислоты концентрацией 35% наиболее вероятные продукты - NO ; N_2O ; NO_2 .

Рассмотрим смесь из NO и NO_2 .

$$\rho_{\text{см.}} = \rho_{\text{F}_2} \Rightarrow M_{\text{см.}} = M(\text{F}_2) = 38 \text{ г/моль}$$

$$\chi(\text{NO}) = x \quad \chi(\text{NO}_2) = 1-x$$

$$30x + 46 - 46x = 38$$

$$-16x$$

$$-16x = -8$$

$$x = 0,5$$

$$\chi(\text{NO}) = 50\% ; \chi(\text{NO}_2) = 50\%$$

$$\varphi(\text{NO}) = 50\% ; \varphi(\text{NO}_2) = 50\% \quad (\text{т.к. для газов } \varphi = \chi)$$

Теперь определим эквив. Если n -его с.о. после окончания реакции, то ξ по закону эквивалентов:

$$\frac{m_{\text{Me}} \cdot n}{M_{\text{Me}}} = \frac{m_{\text{NO}} \cdot 3}{M_{\text{NO}}} + \frac{m_{\text{NO}_2} \cdot 2}{M_{\text{NO}_2}}$$

$$\text{Ил. к. } \frac{m_{\text{NO}}}{M_{\text{NO}}} = \nu_{\text{NO}} ; \frac{m_{\text{NO}_2}}{M_{\text{NO}_2}} = \nu_{\text{NO}_2} , \text{ а } \nu_{\text{эк.}} = \frac{\nu}{\nu_{\text{M}}} , \text{ то:}$$

$$\frac{m_{\text{Me}} \cdot n}{M_{\text{Me}}} = \frac{\nu \cdot 3}{2\nu_{\text{M}}} + \frac{\nu}{2\nu_{\text{M}}} = \frac{4\nu}{2\nu_{\text{M}}} = \frac{2\nu}{\nu_{\text{M}}}$$

$$\text{Ил. к. } M_{\text{Me}} = \frac{m_{\text{Me}} \cdot n \cdot \nu_{\text{M}}}{2\nu} = \frac{8,962 \cdot 22,4 \text{ г/моль}}{2 \cdot 5,376 \text{ л}} \cdot n = 18,67$$

Если $n=3$ получаем $M_{\text{Me}} = 56 \text{ г/моль}$; Me - Fe.



$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = m \cdot 19,38\%$$

N 6.



$$Q_1 = 0,5E(\text{N}=\text{N}) + 3E(\text{O}-\text{H}) - 0,75E(\text{O}=\text{O}) - 3E(\text{N}-\text{H}) \quad (1)$$

$$Q_2 = E(\text{N}=\text{N}) + 4E(\text{O}-\text{H}) - E(\text{O}=\text{O}) - 4E(\text{N}-\text{H}) - E(\text{N}\cdot\text{N}) \quad (2)$$

$$E(\text{N}\cdot\text{N}) = E(\text{N}=\text{N}) + 4E(\text{O}-\text{H}) - Q_2 - E(\text{O}=\text{O}) - 4E(\text{N}-\text{H}) \quad (3)$$

Из (1) получаем:

$$3E(\text{O}-\text{H}) - 0,75E(\text{O}=\text{O}) - 3E(\text{N}-\text{H}) = Q_1 - 0,5E(\text{N}=\text{N}) \quad (4)$$

Умножив (4) на $\frac{4}{3}$:

$$4E(\text{O}-\text{H}) - E(\text{O}=\text{O}) - 4E(\text{N}-\text{H}) = \frac{4}{3}Q_1 - \frac{2}{3}E(\text{N}=\text{N}) \quad (5)$$

Подставим (5) в (3):

$$E(\text{N}\cdot\text{N}) = E(\text{N}=\text{N}) - Q_2 - \frac{4}{3}Q_1 + \frac{2}{3}E(\text{N}=\text{N}) = 1\frac{2}{3}E(\text{N}=\text{N}) - \frac{4}{3}Q_1 - Q_2 =$$

$$= 618,33 \frac{\text{kJ}}{\text{моль}}$$

N 7.

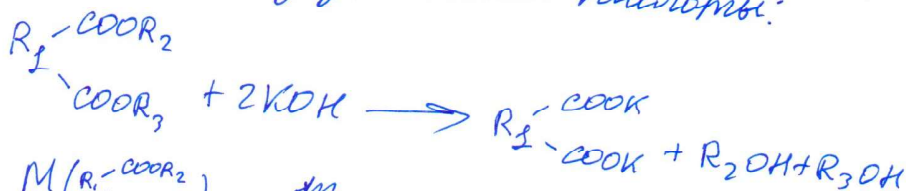
Органические вещества, образующие соль при нагревании с раствором KOH, не так уж и много. Такими являются, например, сложные эфиры.



$$V(KOH) = \frac{m}{M} = \frac{M_{р-ра} \cdot \omega(KOH)}{M(KOH)} = \frac{\rho V \cdot \omega}{M} = \frac{1,12 \text{ г/мл} \cdot 100 \text{ мл} \cdot 0,15}{56 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}$$

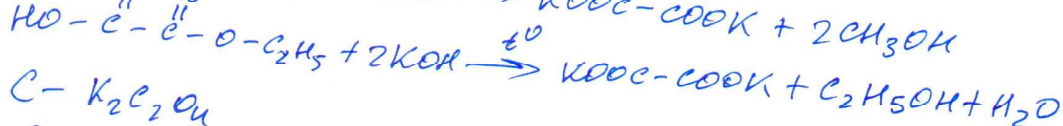
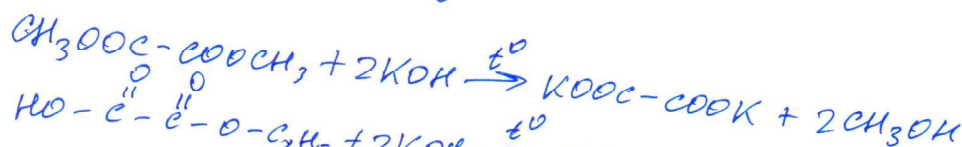
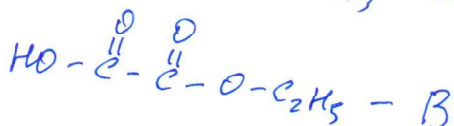
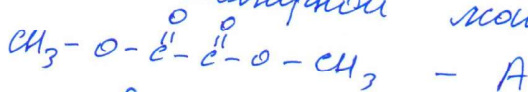
$$M(R_1COOR_2) = \frac{m}{M} = \frac{17,7 \text{ г}}{0,3 \text{ моль}} = 59 \text{ г/моль}$$

Но под такую молярную массу не подходит ни один эфир. Пусть это эфир двухосновной кислоты:



$$M\left(\begin{matrix} R_1-COOR_2 \\ | \\ R_1-COOR_3 \end{matrix}\right) = \frac{m}{\frac{2V(KOH)}{2}} = 118 \text{ г/моль}$$

Этой молярной массе подходят два вещества:



C - $K_2C_2O_4$

D - C_2H_5OH

E - CH_3OH .

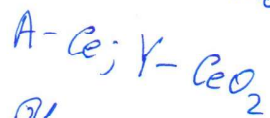
N 8.

Очевидно, X - стекло. Элементы - $Si, O; Na; Ca$.

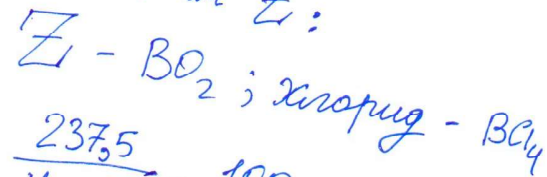
Установили Y:



$$M_A = 4,375 \cdot 2M_O = 140 \text{ г/моль}$$



Установили Z:



$$\frac{237,5}{M_B + 142} = \frac{100}{M_B + 32} \Rightarrow M_B = 48 \text{ г/моль} \Rightarrow B - Ti$$

